

# IF 钢冷轧板表面翘皮缺陷分析与探讨

周丹\*, 李金波, 闫龙格, 史进强

河钢集团邯钢公司技术中心, 邯郸 056015

## Analysis and Discussion on the Surface Upwarp Defect of IF Steel Cold Rolled Sheet

Zhou Dan\*, Li Jinbo, Yan Longge, Shi Jinqiang

HBIS Hansteel, Handan, Hebei, 056015, China

### 1. 引言

IF 钢冷轧板广泛应用于汽车、家电等制品,除要求优良的成形性外,对表面质量的要求也非常严格。冷轧板表面缺陷是影响冷轧板质量最主要的问题之一<sup>[1-3]</sup>,表面缺陷则以表面线状缺陷最为常见。线状缺陷根据宏观形貌可分为“翘皮”、“黑线”、“亮线”三种。钢中非金属夹杂物是造成冷轧钢板表面缺陷的重要原因,因此对冷轧板钢中夹杂物的控制要求非常严格。

### 2. 研究方法

#### 2.1. 工艺条件

本文所分析的 IF 钢冷轧板生产工艺流程为:铁水脱硫预处理→260t 顶底复吹转炉冶炼→RH 精炼→板坯连铸→热轧→冷轧,连铸坯断面为 900-2150mm×230mm。

#### 2.2. 取样及分析方法

对 IF 钢冷轧板翘皮缺陷主要采用以下方法进行检验:(1)对缺陷的宏观形貌及尺寸进行拍照。(2)选取尺寸为 20mm×20mm 带有缺陷的试样,采用超声波振荡仪清洗试样,利用扫描电镜分析缺陷表面微观形貌,并利用能谱分析对缺陷处进行成分分析。(3)截取表面缺陷的横截面及纵截面试样,将试样经镶嵌、磨抛后,采用扫描电镜及能谱仪分析缺陷的形貌和成分。

### 3. 翘皮缺陷观察分析

表面翘皮是 IF 钢冷轧板在冲压成型过程中常见的缺陷,通常沿轧制方向呈均匀细长线状分布,边界平直,宽度约为 1-10mm,长度一般在几十毫米至几米之间。翘皮缺陷边部与基体相连,中部翘起脱离基体,脱落的翘皮处,钢基体较为粗糙。翘皮缺陷肉眼较易辨识,用手碰触有明显触感。缺陷宽为 1mm,长为 2m,该零件为车厢内板冲压件,规格为 0.8mm×1040mm。

#### 3.1. 缺陷表面观察分析

选取尺寸为 20mm×20mm 的带有缺陷的试样使用扫描电镜对夹杂物进行三维形貌观察及成分分析,翘皮缺陷形貌及缺陷处夹杂物如图 1 所示。如图 1a 所示,缺陷处表面粗糙,翘皮明显。对缺陷处进一步观察,如图 1b,可观察到缺陷处钢基体表面呈凹坑状,凹坑内有颜色较深、异于钢基体大小不一的颗粒状物质,对其进行能谱分析,发现颗粒物为 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,其具体成分分析结果见表 2。

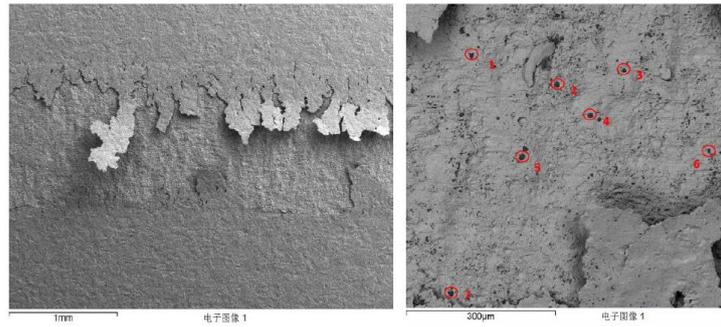
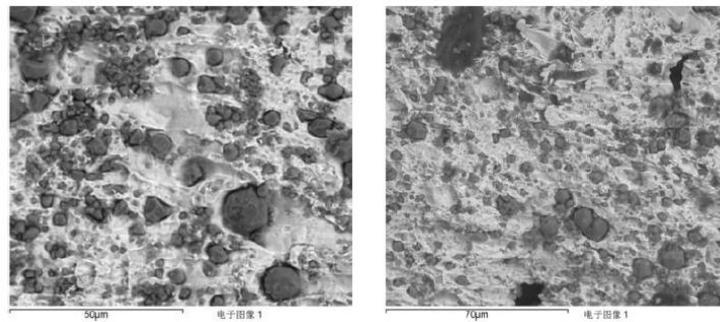


图 1 翘皮缺陷形貌及缺陷处夹杂物  
Fig.1 Inclusions at upwarp defect

表 2 夹杂物的能谱分析结果( atom , %)  
Table 2 Composition of inclusions (atom,%)

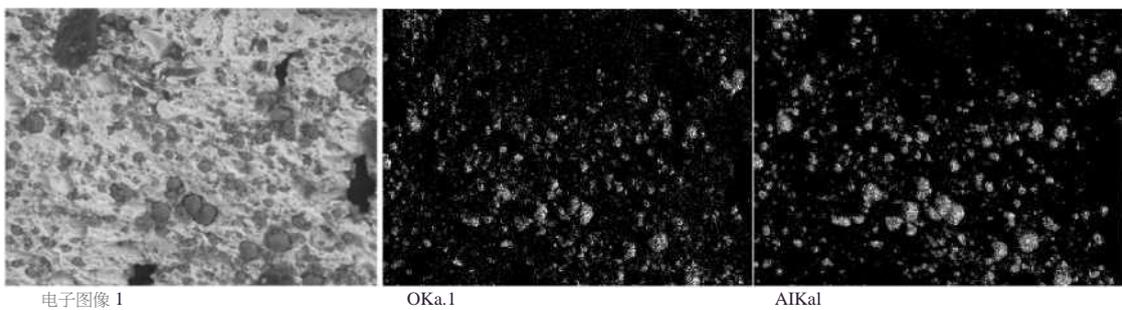
元素	1	2	3	4	5	6	7
C	19.36	31.56	20.19	12.51	6.98	36.56	18.77
O	59.67	52.02	57.79	56.43	65.52	25.64	53.99
Al	20.28	15.89	21.47	30.37	26.09	12.55	26.76
Fe	0.54	0.53	0.47	0.69	0.57	24.50	0.48

对缺陷处基体及翘起的表皮上的夹杂物作进一步观察,如图 2 所示,图 2(a)为钢基体上的夹杂物,图 2(b)为翘起表皮上的夹杂物。发现在缺陷基体及翘皮上均存在大量形状不规则,尺寸范围较大(5-20µm) 的夹杂物。对翘皮处(图 2b)的夹杂物进行面扫描能谱分析,扫描结果如图 3 所示,发现这类大小不一的 夹杂物为  $Al_2O_3$  夹杂。



(a) 钢板基体; (b) 翘皮

图 2 缺陷处具体夹杂物形貌  
Fig.2 Morphology of inclusions



电子图像 1

OKa.1

AlKa1

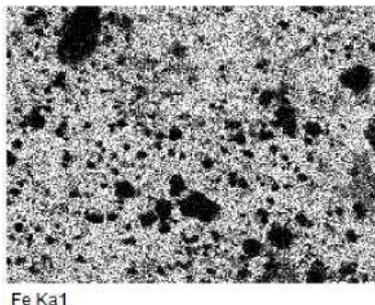


图 3 夹杂物形貌及能谱面扫描结果

Fig.3 Morphology and composition of inclusions(Face scanning)

### 3.2. 缺陷横、纵截面观察分析

对汽车板横截面的夹杂物进行能谱分析，在缺陷处靠近表面的基体中存在明显颗粒状和链状夹杂物，缺陷深度约为  $20\mu\text{m}$ 。如图 3 所示，发现缺陷处呈链状分布的夹杂物主要是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物。这与在钢基体及翘皮上观察到的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂相对应。可观察到缺陷处纵截面处的夹杂物能谱面扫描分析结果，在缺陷处同样发现链状  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物。

## 4. 分析讨论

通过上述对 IF 钢冷轧板翘皮缺陷表面及横、纵截面的扫描电镜观察，在缺陷表面及横纵截面处均观察到夹杂物均为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。因此可判定，缺陷处聚集分布的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂为钢板表面翘皮缺陷形成的直接原因。由于覆盖住该类夹杂物表面的金属层与钢板基体的结合力较弱，在轧制过程中随着钢板厚度的减薄暴露于表面，在轧制方向上损害基体，形成线状缺陷，由于夹杂尺寸较大，形成较明显的线状翘皮缺陷。

## 5. 工艺改进及大型夹杂物的控制

### 5.1. 转炉终点氧控制及转炉下渣量控制

控制转炉终点氧含量，降低钢液中氧的活度，从源头上减少  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物的生成量。通过转炉终点高拉碳，提高底吹搅拌强度，加强入炉物料数据完整性等工艺措施，使转炉终点氧含量平均降至  $430 \times 10^{-6}$ 。通过提高下渣监测精度，建立钢包下渣量台账，将转炉回磷量控制在 0.003% 以内。

### 5.2. RH 顶渣改质及升温吹氧量控制

通过优化改质剂和石灰的配比及加入量，使 RH 进站顶渣 T.Fe 由平均 6.4% 降低至平均 2.8%，保证了钢水的洁净度。

通过提高钢包周转效率，缩减钢包空置时间；加快各工序生产节奏，缩减 RH 真空室的空置时间；持续稳定转炉终点温度等多项措施，使 IF 钢 RH 平均升温吹氧量平均由  $100\text{m}^3$  降低至  $60\text{m}^3$ ，减少了钢液中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物的生成量。

### 5.3. 连铸保护浇铸

浇铸过程中若保护浇铸工作不到位，会导致钢液中氧含量升高。保证钢包自开，加强钢包-长水口间密封，控制中间包内非氧化气氛，塞棒、浸入式密封性等，防止钢液的二次氧化。

通过以上多项优化措施，不同工序钢液中总氧含量得到了较好的控制。转炉终点氧平均为  $500 \times 10^{-6}$ ，RH 精炼结束全氧平均为  $35 \times 10^{-6}$ ，中间包钢水全氧平均为  $25 \times 10^{-6}$ ，全部在  $30 \times 10^{-6}$  以下，达到了 JFE 公司提出的总氧含量控制目标水平<sup>[7]</sup>。有效减少了钢液中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物的生成量，提高了钢水的洁净度，IF 钢冷轧板翘皮线状缺陷由原来的 0.5% 降至 0.2%，表面质量显著提高。

## 6. 结论

(1) 对 IF 钢冷轧板翘皮缺陷进行表面及横、纵截面的扫描电镜观察，判定缺陷处聚集分布的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂为缺陷形成的直接原因。

(2) 通过转炉终点高拉碳，提高底吹搅拌强度，加强入炉物料数据完整性等工艺措施，使转炉终点氧含量平均降至  $500 \times 10^{-6}$ 。

(3)通过优化改质剂和石灰的配比及加入量,使 RH 进站顶渣 T.Fe 由平均 6.4 降低至平均 2.8;通过提高钢包周转效率,缩减钢包空置时间等多项措施,使 IF 钢 RH 平均升温吹氧量由  $100\text{m}^3$  降低至  $60\text{m}^3$ ,RH 出站钢液全氧平均降至  $35\times 10^{-6}$ 。

(4)保证钢包自开,加强钢包-长水口间密封,控制中间包内非氧化气氛,塞棒、浸入式密封性等,防止钢液的二次氧化,中间包钢液全氧平均降至  $25\times 10^{-6}$ 。

采取优化措施后,有效减少了钢液中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物的生成量,提高了钢水的洁净度,IF 钢冷轧板翘皮缺陷比例由原来的 0.5% 降至 0.2%,表面质量提升效果显著。

## 参考文献

- [1] Herbertson J, He Q L, Flint P J, et al. Modeling of metal delivery to continuous casting moulds[C]//Steelmaking Conference, Washington: Iron and Steel Society, Inc, 1991: 171.
- [2] Kubota J, Okimoto K, Shirayama A, et al. Meniscus flow control in the mold by traveling magnetic field for high speed slab caster[C]//1991 Steelmaking Conference. 1991: 233-241.
- [3] Krejny T L, Emling W H, Chambers W P, et al. LTV DHCC synthetic slag practices[J]. Iron & steelmaker, 1997, 24(7): 21-25.
- [4] Sahai Y, Emi T. Tundish technology for clean steel production[M]. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 2008.
- [5] 丸川雄淨・大量生産規模不純物元素①精錬限界①挑戦[C]//大量生産規模不純物元素①精錬限界・東京:日本鉄鋼協会高温 7°口七部会精錬 7 才一 7A, 1996: 1.
- [6] 王新华, 高品质冷轧薄板钢中份金属夹杂物控制技术[J],钢铁, 2013,48 (9), 1-7.
- [7] Hasunuma J, Kurose Y, Hiwasa S, et al. Production of UI-tra-Low carbon steel by K-BOP-RH process at Kawasaki steel[C]//Steelmaking Conference Proceedings. Detroit: Iron and Steel Society,1990,73:91.